

73.278
XSM

73.278
XSM

高压阀式避雷器

Д. В. 希 思 曼 等

《高压阀式避雷器》翻译小组 译

新华书店
PDG

高压阀式避雷器

Д. В. 希 思 曼 等
《高压阀式避雷器》翻译小组 译

· 1975 ·

※ 内 容 提 要 ※

本书叙述了交流阀式避雷器基本元件动作原理及其研究结果，列出了苏联及其他国家用的现代阀式避雷器的特性，1750 仟伏及以下的避雷器结构说明，及其运行经验的资料。

本书适用于与阀式避雷器的生产、使用及研究有关的专业人员，亦可作为大专院校电机系学生的参考。

Д. В. ШИШМАН, А. И. БРОНФМАН
В. И. ПРУЖИНИНА, В. П. САВЕЛЬЕВ
ВЕНТИЛЬНЫЕ РАЗРЯДНИКИ
ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

“ЭНЕРГИЯ” Ленинградское отделение

1 9 7 1

*

《高压阀式避雷器》翻译小组 译

西安电瓷研究所 出版

西安新华印刷厂 印刷

1 9 7 5 年

*

译 者 的 话

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应科研、生产、教学的需要，我们组织西安电瓷研究所和西安高压电瓷厂有关人员翻译了《高压阀式避雷器》一书，供我国从事避雷器的工人、技术人员和干部参考。

毛主席教导我们：“自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。”希望读者用马克思主义、列宁主义、毛泽东思想的观点，有分析、有批判地吸取书中有用的内容，去其糟粕，使我国的避雷器技术更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

由于水平所限，时间仓猝，翻译中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

前 言

阀式避雷器在国民经济中得到了越来越广泛的使用。如果说在 10~15 年前避雷器还仅用于保护发、变电站设备防止雷过电压，则现在阀式避雷器已越来越广泛地用于限制电力系统中产生的内过电压。高压电气设备的绝缘水平要按避雷器特性来确定。建造高电压等级的输电线路而不用阀式避雷器来限制内过电压在实际上是根本不可能的。

对阀式避雷器的要求正在大大地提高。避雷器的特性有系统地得到改善，避雷器的品种在增加。阀式避雷器中采用磁吹灭弧，采用了某些避雷器部件的特殊接入线路等。制成了越来越高电压等级的避雷器。

国内外发表的有关阀式避雷器的文献数量大大增加。但是，实际上却没有把各种杂志上

发表的有关阀式避雷器及其主要部件（间隙及阀片）的特性、结构及研究结果的资料相当详细地加以系统化的文献。

几位作者多年来从事阀式避雷器的设计与研究工作，并与生产有密切的联系，试图填补这一空白。

本书总结了苏联多年来研究、设计及生产交流阀式避雷器的经验，把国内外文献中有关阀式避雷器的资料以及几位作者以前未曾公开发表的研究成果加以系统化。Д.В.希思曼撰写了引论、第三、五章及附录，В.И.普路日尼娜写了第二章，А.И.勃隆夫曼写了第四章，第一章由 А.И.勃隆夫曼，В.П.萨威列夫及 Д.В.希思曼共同编写。

引 论

在正常的工作制度下交流电气设备导电部件的绝缘承受相电压或线电压的作用。

但是，由于不同的原因，在电气系统的某一部分，电压可能升高，而且大大地超过正常电压，这就出现了过电压。如果过电压值很高，就会对电气设备的绝缘造成危险。

过电压分为雷过电压及内过电压。

雷电在电气设备元件（主要为架空线路）或其附近放电时，以及积聚有大量电荷的雷云放电时，发生雷过电压或大气过电压。

如果雷电在电气设备元件上放电，则在导线上出现附加的电荷，这些电荷在流散时形成很大幅值的雷过电压波。这就叫直击雷。

在直接雷击在接地电阻很低的物件上时，雷电流幅值可达几万或几十万安（测到过超过200千安的雷电流），持续时间为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 秒。雷电流上升陡度达每微秒几千或几万安（测到过每微秒超过50千安的陡度）。一次放电中记录到几次冲击的多重雷电放电也并不罕见。同时，雷电放电总持续时间可达十分之几秒（测到过放电时间1.8秒）。雷电的总电荷在大多数情况下为几或几十库伦。

在没有专门的保护措施时直击雷过电压可能达到很大数值，对现有任何电压等级的绝缘来说都是危险的。

对电气设备绝缘造成危险的是过电压的幅值高，还有其变化速度大。后者对电机及变压器绕组的线圈及匝间绝缘造成危险。

当雷电向输电线路附近的大地或某一物件（避雷针、树等）放电时，在线路导线上出现感应过电压，受雷击物件离导线越近，感应过

电压幅值越大。其值不超过几十万伏（在极罕见情况下可达500~600千伏）。

感应过电压只能对较低电压（35千伏及以下）设备的对地绝缘造成危害。对电气设备感应过电压的防护可由对直接雷的防护同时得到保证。

线路上出现的雷过电压波侵入变电站，有可能损坏最昂贵的电器设备的绝缘，如电机、变压器、电抗器、开关。对变电站雷过电压入侵波的防护方法是减小变电站附近线路导线落雷的几率（在变电站进线地段或线路全线装设直击雷防护装置）及限制侵入变电站及作用于其绝缘上的过电压波幅值。

限制作用于变电站绝缘上的雷过电压波幅的主要设施是阀式避雷器，它在变电站内的配置应按“过电压防护导则”进行⁽¹⁾⁽²⁾。

内过电压系由系统电磁能量的再分配决定。内过电压可能是系统内某种操作后的暂态过程中产生（操作过电压）；如切合线路、变压器、电抗器，接地电弧重燃，也可能是系统内谐振现象的结果（谐振过电压）。谐振过电压一般用消除和阻尼可能的谐振回路的方法加以限制。

内过电压用倍数——过电压幅值与系统最高相电压幅值之比——来表征。操作过电压倍数是一种统计值，由系统的特点和操作瞬间的偶然因素而定。在绝大多数情况下操作过电压倍数不超过2.5~3.0，很少达到更高的数值（在较低电压系统内较常见）。

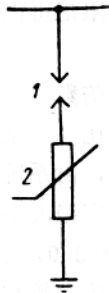
对于在正常情况下110千伏及以下电气设备的绝缘来说，操作过电压一般不会造成危险，

不采用专门的保护设备来防护，而是选择和保持正常的绝缘水平并采用一些一般性措施，如系统中性点接地（直接或通过消弧线圈接地），采用恰当性能的开关设备及快速继电保护。对于绝缘不能承受可能出现的操作过电压作用的较高电压的设备，必须采用专门的操作过电压保护。

高电压等级输电线路及变电站电气设备绝缘水平在很大程度上决定其成本。电压越高，这种影响越大。因此，高电压等级输电的技术经济指标在很大程度上由其绝缘水平来决定。输电电压越高，其相对绝缘水平应越低，因此，该输电线路的过电压应当更进一步限制。随着电压等级的提高，过电压限制水平明显地愈接近工作电压。苏联现有的 330 及 500 千伏输电系统过电压倍数相应地限制为 2.7 及 2.5 以下，而在 750 及 1150 千伏输电系统则应限制为不超过 2.1 及 1.8。

较高电压等级输电系统操作过电压也用阀式避雷器限制。330 千伏及以上输电线路的绝缘以及现在生产的 150 及 220 千伏电力变压器绝缘都靠它来保护。随着阀式避雷器性能的改进，用它来保护电气设备的操作过电压已扩展至越来越低的电压等级。同时，采用阀式避雷器也可把作用于变电站设备上的雷过电压加以进一步限制。

最简单的阀式避雷器有间隙，具有非线性伏安特性的电阻（阀片）与之串联（图引—1）。避雷器内还采用并联电阻，与间隙并联，有时还用并联电容。



图引—1 最简单的阀式避雷器原理图
1—间隙；2—阀片。

并联电阻及并联电容可以控制某种波长的电压在阀式避雷器各间隙上的分布情况。并联电阻在大多数情况下用于使工频电压及内过电压长波在避雷器间隙上分布均匀，以保证避雷器在这些电压下的放电电压保持在要求的水平上。并联电容用于在雷过电压短波加在避雷器上时使各间隙电压分布均匀，或较为不均匀。

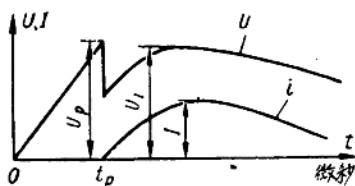
阀式避雷器均有阀性：在避雷器间隙放电后，其阀片随着所通过的电流（或施加的电压）大小而改变导电率。通过避雷器的电流（或阀片上的电压）增大时，其导电率增大；电流（或阀片上的电压）减小时导电率减小。

阀式避雷器的保护效应归结于，在超过避雷器间隙放电电压的过电压作用下（例如，在超过避雷器冲击放电电压的雷过电压作用下），间隙发生放电，避雷器的阀片即接于网路。此后，作用于绝缘上的过电压值由流经避雷器的电流在阀片上产生的压降，即所谓避雷器残压来决定，流经避雷器的电流大小取决于所作用的过电压来决定（在雷过电压时，由通过避雷器的雷电流决定）。由于避雷器阀片的非线性伏安特性以及在避雷器接线阻抗的压降（线路及闪电通道上的电阻，电源电感）使残压对被保护的绝缘无害。间隙被雷过电压击穿后，在工频电压作用下流过避雷器的电流称为续流。在续流及内过电压作用下避雷器动作电流由避雷器阀片加以限制*，避雷器上所受电压降低时，阀片电阻增大。电流减至零值时，电弧即被间隙切断。阀式避雷器恢复起始状态。

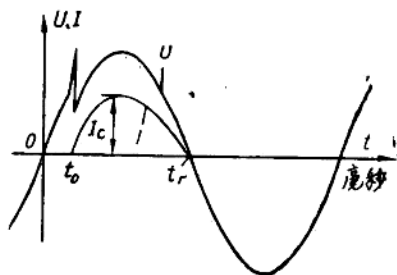
阀式避雷器在雷过电压作用下动作时冲击电压及电流的理想波形示于图引—2。图中 t_p 为雷过电压波从开始到间隙放电的时间； U_p 为避雷器冲击放电电压； U_1 为幅值为 I 的雷过电压冲击电流通过避雷器时的残压。

图引—3 表示避雷器间隙被雷过电压击穿后随之而来的续流及工频电压。图中 t_0 为雷过电压波击穿避雷器间隙的瞬间； t_r 为续流熄弧瞬间； I_0 为续流幅值。

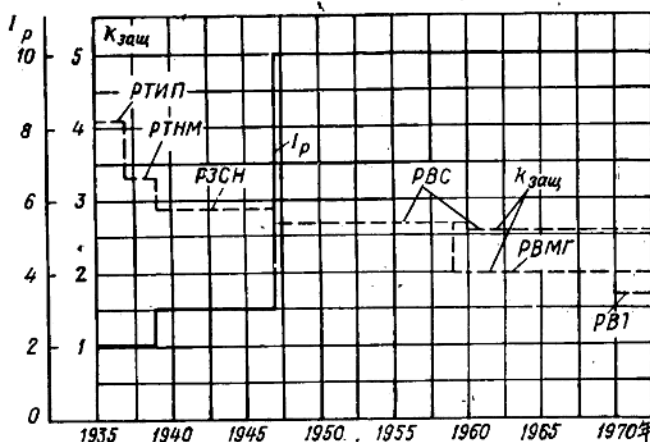
* 在带限流间隙的阀式避雷器中，间隙也起限制续流的作用。



图引—2 阀式避雷器在雷过电压下动作时的冲击电压及电流



图引—3 工频下阀式避雷器的电压与电流



图引—4 苏联 110 千伏及以上各种型式阀式避雷器在额定放电电流 I_p 下保护比 $K_{заш}$ 逐年降低（虚线）及额定放电电流增加（实线）情况

阀式避雷器是电气设备的重要元件，因为电气设备绝缘水平在很大程度上由它来决定。正确地装设阀式避雷器实际上可以消除在配电所出现对设备绝缘造成危险的过电压。

国内外都在有系统地改进阀式避雷器的性能：降低避雷器残压及冲击放电电压，为了进一步限制在系统中出现的内过电压，还降低工频放电电压。同时提高通流能力，在某些情况下还要提高避雷器的灭弧能力。可以预料，在不远的将来，不同电压系统中雷过电压及内过

随着磁吹阀式避雷器的制成，阀式避雷器的使用发生了质的跃进。非磁吹避雷器仅用于限制作用于电气设备上的雷过电压，一般在内过电压作用下不动作，而 150 千伏及以上的磁吹阀式避雷器还可用于限制内过电压。各种电压等级的磁吹阀式避雷器限制雷过电压比非磁吹避雷器有效得多。

从图引—4 中可以看出，阀式避雷器的保护作用在不断改善：避雷器的保护比在降低，额定放电电流在增大。这就可以保证对较高电压等级的输电线路进行必要的过电压保护，提高对电气设备过电压保护的可靠性，还可降低 150 及 220 千伏电力变压器试验电压，给国民经济带来很大的经济效果。性能改善的新型阀式避雷器的制成在这方面开辟了进一步的远景。现在所有先进的厂家都生产磁吹阀式避雷器，不断地改善其性能。

电压的限制将如此有效，以致使电气设备的绝缘水平仅由工作电压的作用来决定。同时，阀式避雷器外形尺寸在不断缩小；电压越来越高的避雷器制成单元件的，同时为了降低避雷器高度，其内部零件在结构上并行排列，而在电气上串联。正在研制更高输电电压用的阀式避雷器。

阀式避雷器基本元件为间隙及阀片。本书头两章就说明它们。后面几章叙述阀式避雷器的性能、结构以及避雷器运行的不同特点。

第一章 阀式避雷器的间隙

1—1 间隙的用途

阀式避雷器的间隙把避雷器的阀片与一直受工作电压作用的电气设备元件隔开,而在可能危及被避雷器保护的绝缘的过电压出现的一瞬间,间隙就把它接通,并且保证随后熄灭续流电弧。

对阀式避雷器的间隙提出以下基本要求:

1. 间隙应当尽可能具有平坦的伏—秒特性,即在从几分之一微秒到几个毫秒宽的预放电时间内,它的放电电压变化应当不大〔注①〕。
2. 间隙的放电电压应当具有最小的分散性
3. 间隙通常应当在电流第一次过零时熄灭续流电弧。

4. 当间隙多次通过额定冲击和续流以后,以及在使用中不可避免的温度波动以及运输和使用避雷器所经受的震动、颠簸和碰撞的作用,间隙的放电电压不应变化。

为了满足这些要求,在高压阀式避雷器中采用了多个间隙,也就是说将相当数目的,具有小气隙的单个间隙串联起来。在此情况下,利用了通过间隙的续流被切断后,短弧所特有的阴极电压降的性质。

在苏联的阀式避雷器中,当避雷器处在最大允许电压时,作用在单个间隙上的电压为1至1.7千伏有效值。

在某些国外的阀式避雷器中(一般旧式结构),是靠不同类型的间隙来分别完成,保障必需的放电电压和随后熄灭续流的作用,这样的避雷器具有隔离间隙(通常为具有相应的放电激发装置的球形间隙)和多个灭弧间隙(184)。

〔注①〕: 多个间隙的伏—秒特性在某些情况下,具有特定的形状而非平坦的曲线。

1—2 间隙的结构和作 用原理

在近代阀式避雷器中,已知大多数采用的间隙,能够归属为下列基本类型:

- 1)、电弧不动式,续流电弧实际上就在间隙的放电点熄灭;
- 2)、电弧自吹式,在流经避雷器的电流回路中产生的电动力(而在某些间隙中也产生气动力)的作用下电弧移离放电点,随后略为拉长或分成几部分。
- 3)、电弧旋转式,在磁场的作用下电弧在电极之间的环形气隙中旋转;
- 4)、电弧拉长式,在磁场的作用下,而电弧在两电极间移动,且显著地(以10倍或百倍)增加其长度;
- 5)、电弧分割式,续流电弧在电极间磁场的作用下移动,同时被分割成一系列的短弧。

上述第3—5类型的间隙中,磁场是用永久磁铁或者用续流通过磁吹线圈来产生的。

我们来研究适合于阀式避雷器间隙的一些特有结构。

电弧不动式间隙。在PBC和PBII系列阀

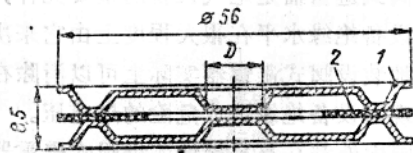


图1—1 PBC型间隙

1—电极, 2—绝缘垫。

式避雷器中，以及也用这些基本元件制造的某些其它的苏联避雷器中，采用的间隙示于图 1—1。这种间隙通常称为 PBC 型间隙。每个这种类型的单个间隙由两个冲压成型的黄铜电极 1 和厚度为 0.5~0.6 毫米的绝缘环垫 2 组成。电极的材料和厚度是这样选取的，间隙的构造应具有足够的刚性，使间隙的放电电压值无论在压紧间隙的弹簧的机械力作用下，或者在通过间隙的冲击电流作用下，均保持不变。当大的冲击电流（5—10 仟安）通过间隙时就产生力图把间隙的电极拉开的机械应力，采用黄铜作为电极材料是因为它比钢不易被腐蚀，并且能保证在间隙放电以后，其电气强度恢复得比紫铜快（见图 1—32）。PBC 的电极厚度为 0.8 毫米。在厚度较小时，由于冲击电流和续流通过在间隙的放电部位，电极就过分发热，相应地在避雷器多次动作后，放电电压有较大的变化。

PBC 型间隙的直径这样选取，使得间隙内部具有足够大的自由空间体积，以使放电部位远离绝缘垫，而沿绝缘垫表面的闪络电压显著地（不低于 40—50%）超过间隙的放电电压。

PBC 型间隙的绝缘垫采用的材料为整流子用云母板，磷酸铵（耐热的）云母板或另外一些云母材料、云母以及 ΘB 型电工纸板。用云母或者磷酸铵云母板的间隙具有较高的灭弧性能。电极和绝缘垫彼此相对位置的固定是采用把间隙装在绝缘筒中的方法来实现的（在 PBC 型避雷器中用瓷筒，在 PBI 型避雷器中用电木纸筒）。

PBC 型间隙，但直径稍小一点的（42—45 毫米），也用作提高灭弧电压的复合型避雷器中的点火间隙，在带有限流间隙的 PBT 系列的避雷器试制品中作为旁路间隙（见 § 4—4），也用于拟定从 1971 年起代替 PBI 型避雷器的 3—10 仟伏 PBO 型避雷器。直径 56 毫米的 PBC 型间隙能够熄灭的续流等于 80—100 安，直径为 42—45 毫米的间隙为 50—80 安。

PBC 型间隙虽然构造简单，但具有许多重

要的特性。在间隙放电部位的电场是近似均匀的。间隙的放电电压由电极的形状和绝缘垫的厚度来决定。使间隙产生照射作用是沿着相当大的圆形表面进行的。进行续流电弧燃弧和熄灭的间隙工作面，要远离绝缘垫，以保证间隙具有较高的灭弧能力。

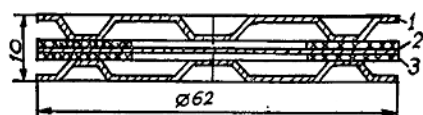


图 1—2 PBO—35型避雷器的双重间隙
1—压型电极；2—平板电极；3—绝缘垫。

PBO—35型避雷器的间隙（图 1—2）是 PBC 型间隙的改型，它的两个间隙有三个电极（类似于 PBC 间隙电极的两个压形电极和 1 个平板电极 2），和两个绝缘垫 3。PBO—35 型避雷器的间隙与通常的 PBC 型间隙相比，有降低多个间隙高度的可能性。

PBC 型间隙是激发间隙：在间隙的电极之间的电压还不足以引起放电时，在电极与绝缘垫相接触的面上，由于电场强度的正切分量相当大，电极与绝缘垫接触的不紧，就发生局部放电—激发照射。形成的光电子使间隙的放电稳定，这就改善了间隙的伏—秒特性和减小放电电压的分散性。

1955 年以前 PBI 型避雷器采用另一种结构的间隙（图 1—3）。在这种间隙中，电极 1 粘在云母绝缘垫 2 上。但是在使用过程中常常发生电极开胶和错位，使间隙的放电电压有大的改变。因此，在 PBI 型避雷器改型时，改用 PBC 型间隙。

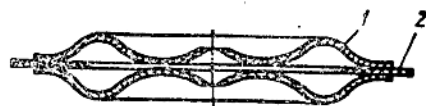


图 1—3 1955年以前 PBI型避雷器的间隙
1—电极；2—绝缘垫。

在其他国家，亦广泛地采用了结构与 PBC

型间隙相似的间隙作为电弧不动式间隙。

瑞典通用电气公司⁽²³¹⁾的间隙中,电极彼此相对定位是借助于几个不大的圆柱体,其中之一是非线性电阻(图1—4)。

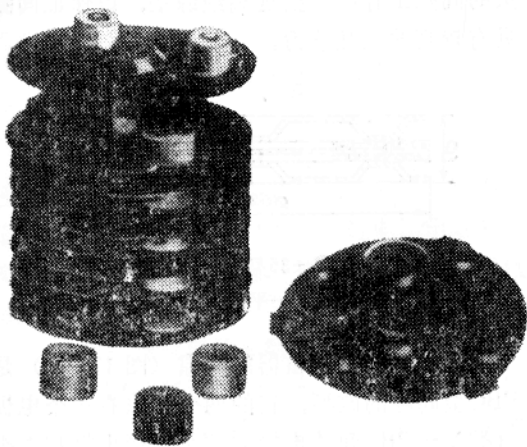


图1—4 瑞典通用电气公司的间隙。

在美国、捷克、匈牙利、南斯拉夫和其他一些国家的避雷器中,都采用环状并联电阻来定位电极的间隙。

许多用并联电阻来定位电极的间隙结构,其缺点是间隙的激发作用很弱或根本没有;在间隙中没有电位梯度较高的区域。

在美国西屋公司的间隙中,消除了上述缺点(图1—5),在该间隙上有用钛酸钡、高电容率的材料制成的元件3。在元件3与平板电极2之间发生激发间隙的局部放电。通过元件3的位移电流的数值愈大,即作用于间隙上的冲击电压的陡度愈大,则间隙的激发愈强。

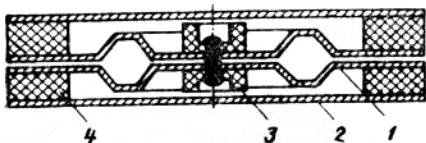


图1—5 美国西屋公司的双重间隙。

- 1—压形电极; 2—平板电极;
- 3—具有高电容率的陶瓷元件;
- 4—并联电阻。

在予放电时间短的情况下,这对间隙的伏—秒特性曲线产生有利的影响。

电弧自吹式间隙。在许多间隙中,电流流至电极的部位和电极的形状是这样来选择的,由于流过电极的电流磁场同电弧电流相互作用的结果,使电弧从发弧点吹开并向指定的方向移动。根据间隙结构不同,电弧运动的最终结果可以在特殊的灭弧盒中使电弧拉长,或者在灭弧栅中电弧被分割成若干短弧,或者在间隙内电极间的较大的空腔里作较小的移动。在这些情况下,电极发弧点的烧伤减小了,间隙的通流能力提高了,它的灭弧能力得到增强。

如果由径向对称的电极形成间隙,而间隙的放电并不发生在间隙的对称轴上,那么作用在电弧上的电动力方向从中心指向电极的周围。这个吹弧原理被利用在一些间隙结构中,例如西德西门子公司的线路型避雷器的间隙中(图1—6)。图1—6上标记三角形的地方,显示出弧足的痕迹点。这种间隙当续流达到120安时,也能应用⁽¹¹⁸⁾。

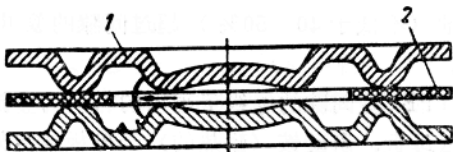


图1—6 西德西门子公司的间隙。

- 1—电极; 2—垫圈。

电弧自吹式间隙的另一形式,被瑞士的勃朗·保弗利公司利用在HEF型线路型避雷器中,其原理示于图1—7⁽¹⁸⁰⁾。由电极形状来决定电流回路所产生的磁场,以力F使单个电弧从起燃点向灭弧盒的中部移动。这种间隙具有2000微秒250安通流能力的特性。

美国西屋公司的配电型LV系列避雷器采用的间隙示意于图1—8⁽¹²³⁾。放电发生在棒状电极1和带缺口的环状电极2之间,其放电点在图上用字母A表示。当续流通过时,在空气隙中的燃弧与沿着环状电极通过的电流形成回路。在回路的磁场作用下,电弧的一个弧足

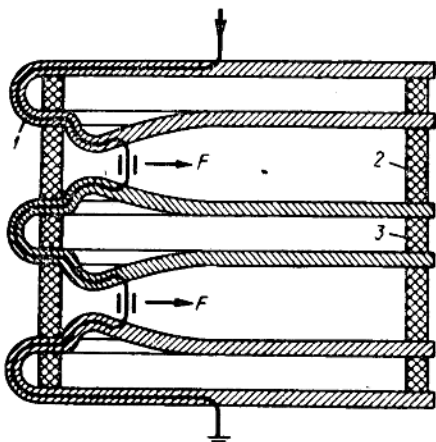


图1—7 瑞士勃朗·保弗利公司的间隙。

1—电极； 2—绝缘垫； 3—支座；

向环状电极的缺口方向运动，另一弧足沿着棒状电极作螺旋运动。由于陶瓷隔片使电弧增长几倍，结果移动到位置B。包括两个棒状电极和一个带缺口的环形电极的双重间隙，灭弧电压达3仟伏。

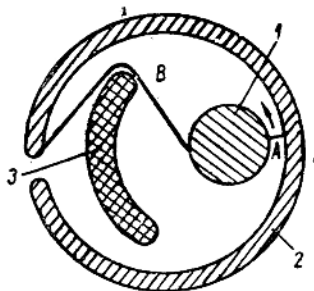


图1—8 美国西屋公司的间隙。

1、2—电极； 2—隔片。

在西德电气总公司的700仟伏以下AVS型避雷器的间隙中（图1—9），电极间的放电沿着图中用三条虚线所示的路径进行⁽¹⁰⁴⁾。

电弧从起燃点吹开后，在灭弧盒中被拉长，并被栅板1分割成三段弧。为了使磁场得到颇大数值和最佳分布形状，沿着电极的电流的路径具有曲折的形状。间隙的特性为通流能力在方波2000微秒达600安，并恢复强度较高。在AVS型避雷器中放电电压与灭弧电压比值为1.5~1.8。同时间隙的结构相当简单，

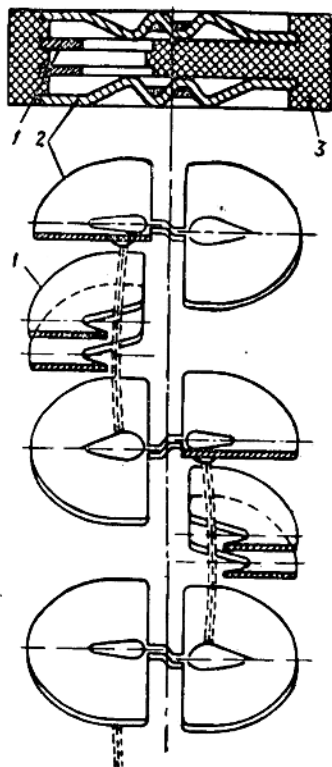


图1—6 西德电气总公司的间隙。

1—栅板； 2—电极； 3—绝缘隔板。

使用可靠。

在捷克生产的VR系列避雷器中，采用了电弧自吹式间隙，如图1—10所示。在文献⁽³⁸⁾中，对间隙中所发生的过程作了如下的解释：续流电弧靠电动力的作用，向间隙的里面或外面弯曲。在电弧被弯曲的间隙的这部分，由于空气发热，产生了正压力，此也产生了沿着电弧的两面流动的气流。在间隙发弧点的对面，这些气流汇合在一起，并且吹入空间的中部，把电弧拉长并使其有效地冷却。气流从放点带走被电离的粒子，这就提高了间隙的灭弧能力。

电弧旋转式间隙。在许多间隙中，用磁场使电弧作旋转运动。这时弧道被急剧地冷却并防止电极熔化，使间隙的灭弧能力得到很大的提高。这种间隙示于图1—11。电极2和4的形状分别为一偏心圆环和一个圆盘，放在由异

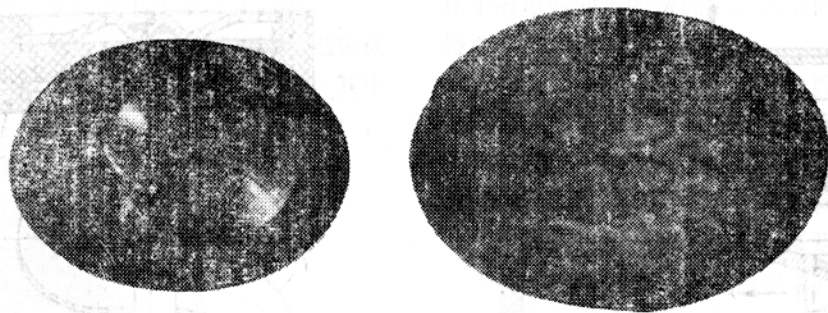


图 1—10 捷克 VR 系列的间隙。

箭头表示间隙中气体运动的方向。

极永久磁铁或恰当连接的线圈而产生的均匀磁场中。在上述磁场中，作用于电弧的力 F ，迫使它沿着环隙运动。

电弧旋转式间隙的另一种工业用的结构型式，是用径向磁化磁铁来建立磁场的，这一实用方案是美国西屋公司提出的，磁铁安置在间

隙的电极间的自由空间，如图 1—5 所示。

在具有径向磁场的间隙中，磁场是相当弱的， $300 \sim 400$ 高斯 ($0.03 \sim 0.04 \text{ тл}^*$)，电弧的运动带有不稳定的性质，归根到底限制了间隙的通流能力。灭弧的对比试验表明，在其它条件相同的情况下，具有径向磁场的间隙的恢

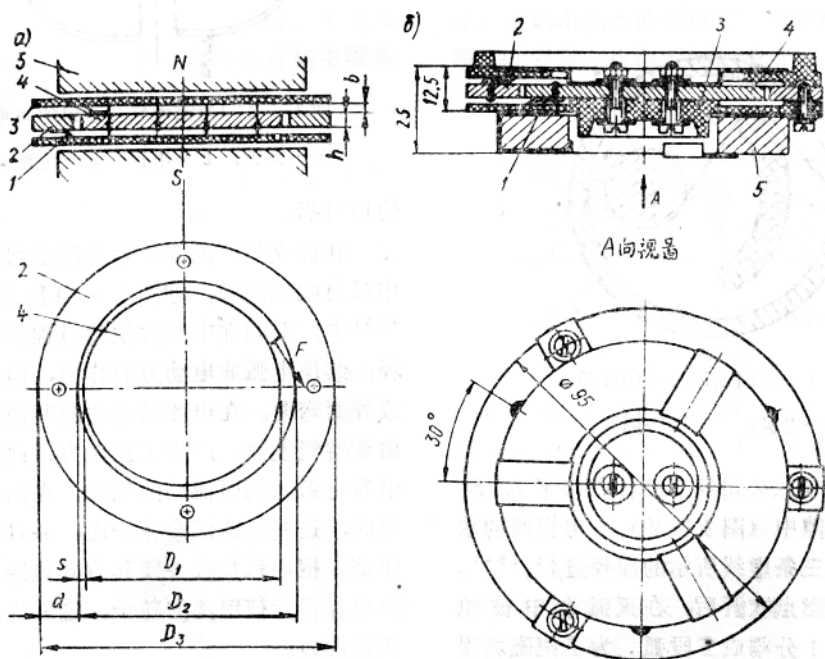


图 1—11 电弧旋转式间隙。 a—接线图； 6—构造图。 1—照射电极； 2—电极； 3—绝缘垫； 4—电极； 5—磁铁。

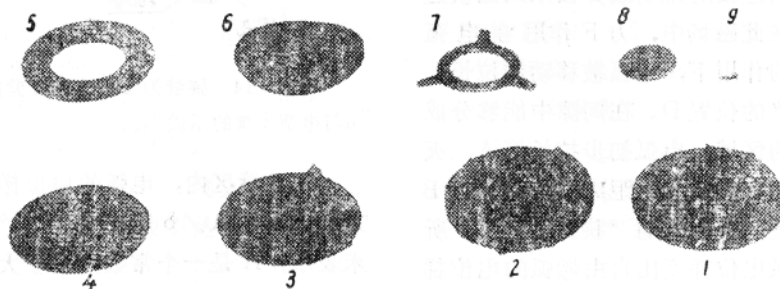
*磁感应的实用制单位全称Тесла，相当于 10^4 高斯，以下简称 тл——译者注。

复强度比图 1—11 所示间隙的恢复强度低。这可以解释为，在后一情况下，移动着的电弧被挤在相当接近于电极 ($b=1.5$ 毫米) 的两个绝缘垫之间。

具有径向磁场的间隙，在避雷器的个别的结构中，已获得了应用，续流达到 500~600

安⁽²⁰⁰⁾。

按照图 1—11 的间隙，能够应用在续流实际任意大小的避雷器中。具有工作直径 $D_1=40$ 毫米的应用在 PBM 及 PBM Γ 系列的避雷器中的间隙，其外形和主要零件，如图 1—12 所示。



1—12 PBM 及 PBM Γ 系列避雷器间隙的外形及其主要零件

1—总装图；2—间隙；3—除去上盖的同一间隙；4—上盖；5—固定环；6—垫片；7、8、9—外电极、内电极和照射电极。

如果间隙用作限制大气过电压，则电极的工作直径是 30—40 毫米，电极的厚度 2—3 毫米。在这种间隙中，绝缘垫可用电工纸板制成。对于限制大气过电压避雷器，经规定的电流 20 次的作用后，绝缘垫没有明显的烧伤，并且间隙的恢复强度保持原有的水平。

如果间隙是供限制操作过电压的避雷器或复合型避雷器之用，预料它通过很大的续流 (1000 安或者更大)，则根据额定电流的不同，电极的工作直径为 40—70 毫米，厚度 3—4 毫米。在上述类型间隙中，绝缘垫是由耐弧材料 (云母玻璃、硅有机材料等) 制成。

预计通过电流达 5 千安的工业生产的间隙，如图 1—116 所示。在这种间隙中，电极的工作直径 $D_1=65$ 毫米，电极厚度 $h=4$ 毫米，间隙的最大直径 $D_3=95$ 毫米。

在通用电气公司的间隙中，绝缘垫由云母玻璃制成，预计续流为 300 安。圆盘状的内电极固定在第一个绝缘垫上，三个同心环状的三个电极固定在第二个绝缘垫上。这样一来，在两个绝缘垫之间的每组间隙，是由三个单个间隙构成的。用与间隙串联的线圈来产生磁场。

在苏联的电弧旋转式间隙中，磁铁之间的空隙为 8~13 毫米，依间隙的大小而定。当串联接入几个间隙时，在空隙中部的磁场强度比边缘高。带有磁铁的间隙组装在两个厚度为 1—2 毫米、直径 80—100 毫米的钢盘之间时，磁场强度沿着整个空隙，实际上变得比较均匀且略有加强。在选择磁铁高度时，应考虑到铁淦氧磁体的磁感应的负温度系数，约等于每 1°C 0.2%。试验表明，当磁铁间的空隙是 13 毫米时，各向异性的钕质铁淦氧磁体 (剩余感应为 0.35 高斯，矫顽力 1.7×10^5 安/米) 的高度应当是 6—8 毫米，而当空隙是 8 毫米时，铁淦氧磁体的高度可降低到 5—4 毫米。

电弧拉长式间隙。 这种间隙的特征是，在间隙中的电弧拉长以后，其电弧电压是几百伏，有时达几千伏。当在冲击电压下动作时，间隙对冲击电流实际上没有阻力，但是在电弧开始运动后几毫秒明显地限制了续流⁽⁵⁰⁾。由于上述的性质，电弧拉长式间隙能够应用在交流和直流网路中熄灭电弧。在第一种情况下，电流遮断发生在网路电压过零以前。电流通过的持续时间是由电弧电压增长的时间及其大小

决定的。这个持续时间比频率为 50 赫芝的半波明显地小。这样一来，电弧拉长式间隙不仅限制了通过避雷器的电流的幅值，而且也限制了它的持续时间。

电弧拉长式间隙的作用原理可从图 1—13 得到说明。两个电极 1 装在灭弧盒 2 的两壁之间，处在由恰当连接的线圈或异极永久磁铁建立的磁场内。在此磁场中，力 F 作用在电弧上。在这个力的作用下，电弧被移动和拉长，趋向于占据最终的位置 D 。在间隙中能够分成三个有代表性的区域：电弧初步拉长区 A ，灭弧盒的两壁之间有相当大的距离 γ ，过渡区 B 及与灭弧盒两壁间距为 δ 的“狭缝”区 C 。所谓狭缝是指电弧电位梯度比自由燃弧的电位梯度较高的缝隙。在几百安的电流下通常采用的缝宽为 1—2 毫米。在许多情况下，当间隙应当熄灭足够大数值的操作过电压的电流时，采用的缝宽应为 4—6 毫米。在此情况下， δ 的大小与 γ 的大小相一致，于是间隙的过渡区也就消失了。为了增加电弧长度，在电弧的最终位置常常应用隔板，或者 C 区采取迷宫式结构来实现（如图 1—13 和图 1—15）。

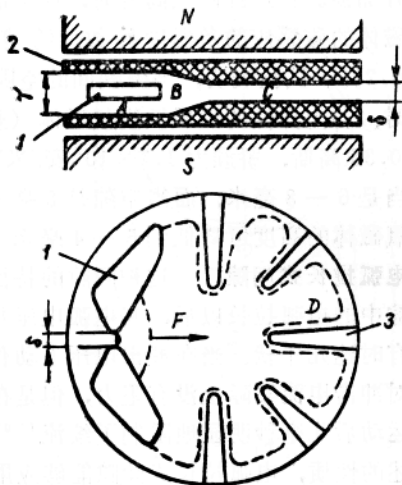


图 1—13 电弧拉长式间隙

1—电极；2—灭弧盒；3—隔板。

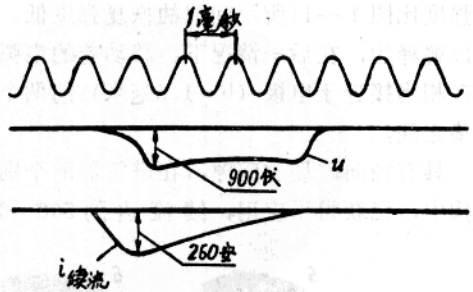


图 1—14 狭缝为 1 毫米的实验间隙的电弧电压 u 与电流 i 续的示波图。

在狭缝区内，电弧的电位梯度伏/厘米由方程式 $E = A\sqrt{\delta}$ 所决定^(49, 50)，式中 δ 以厘米表示； A 是一个常数，对于大多数灭弧盒壁的材料（玻璃、云母玻璃及某种陶瓷）来说， $A = 19$ 伏/厘米。

交流避雷器用的间隙的直径通常为 50—100 毫米；在狭缝中电弧最大的电压降是 800—1600 伏。PBT 避雷器试制品具有狭缝的间隙的电弧电压波形图，示于图 1—14 上。

在限制大气过电压的交流避雷器的间隙中多半用串接线圈来激励磁场的。在此情况下，不管电流的极性怎样，电弧总是吹向同一方向。这样就能够最合理地来利用灭弧盒的面积。为了保护线圈绝缘，防止由于通过冲击电流而产生的危险的过电压，与线圈并联地接入旁路非线性电阻或旁路间隙。

冲击电流通过旁路非线性电阻或者旁路间隙并通过电弧拉长式间隙的放电点；续流基本上通过磁吹线圈和间隙，在间隙中电弧被吹入狭缝并且被拉长。

当选择磁吹线圈和它的分流结构时，必须满足以下要求⁽⁶⁵⁾。

①磁感应强度应当足以保证电弧从电极间的空隙可靠的吹开并且拉入狭缝，同时磁感应强度不应过大，目的是电弧电压的增长速度适中。必须具备后一条件是为了使电弧电压不超过电弧通过的区域内的间隙电气强度，这样就不会造成间隙的重复放电。

②线圈的有效电阻应当足够的小，以保

证在旁路间隙中的续流电弧熄灭。如果旁路间隙也制成磁吹式，则灭弧就会容易。

③旁路的非线性电阻应有足够的电导，以使通过冲击电流时在其上的电压降最小；另一方面，当续流通过时，它的电阻应比线圈的电阻大得多，以便使大部分续流通过线圈，保证足够的磁场强度。

④磁吹线圈应具有足够的热稳定性和动稳定性，以及足够的绝缘。

当采用旁路的非线性电阻时，避雷器残压比采用旁路间隙时高百分之几。

在限制操作过电压的交流避雷器的情况下，满足上列要求的磁吹线圈是难于实现的。对这种避雷器，如同对直流避雷器一样，采用永久磁铁是比较有效的。

图 1—15 绘出 1957 年设计的电弧拉长式间隙，用于直流和交流避雷器。在此间隙中，磁场是用永久磁铁 1 建立的。发生在电极 2 之间的电弧被吹向这一面或另一面，视电流的极性而定。不同长度的绝缘隔板促进电弧的拉长。

美国 OB 公司生产的狭缝式间隙的代表性结构示于图 1—16⁽¹⁶⁾。整个间隙由 12 个单个间隙组成。每个间隙的灭弧盒由两个一定形状的云母玻璃平板构成。每个平板的两面各装一个电极，用连接片连接起来。平板上的电极和一定形状的凸缘位置的配置，得使所有的云母板叠装起来后，在间隙中每对电极间的空隙和狭缝的宽度等于一定的大小。并联有非线性旁路电阻的两个线圈位于整组间隙的两端。多个间隙的直径大约 50 毫米，高度约 70 毫米。在每个间隙中电弧的最大长度是 70 毫米。

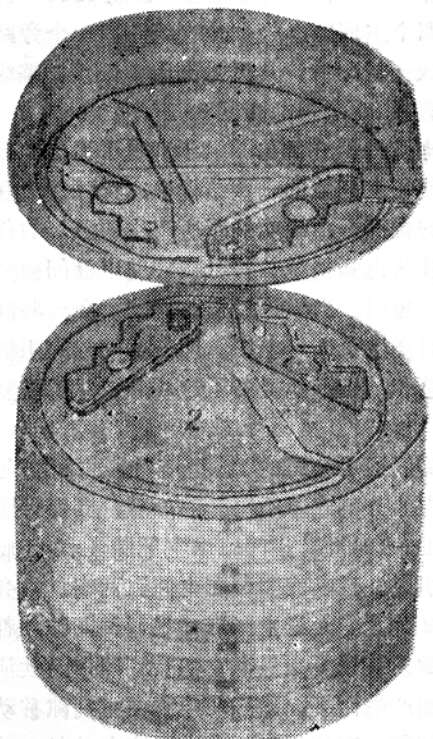
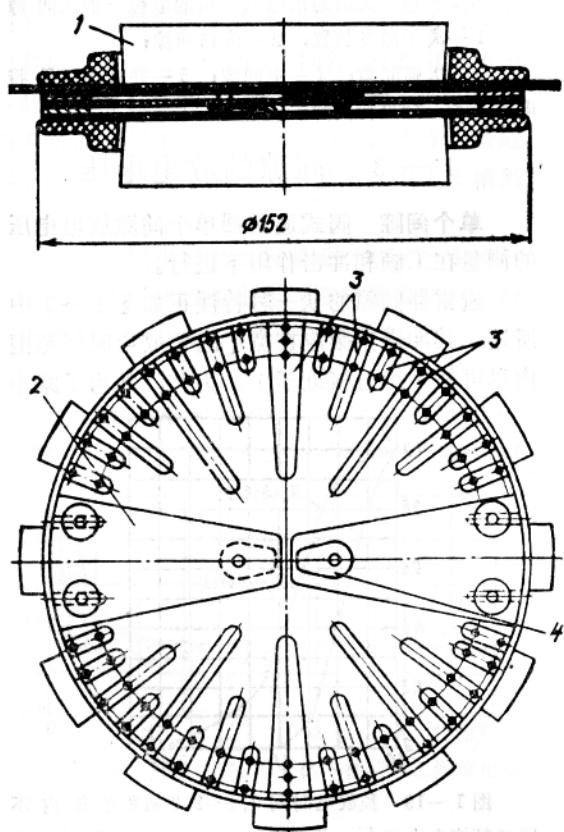


图 1—15 用永久磁铁建立磁场的电弧拉长式间隙
1—永久磁铁；2—电极；3—隔板；4—照射电极

图 1—16 美国 OB 公司的间隙
1—电极；2—绝缘平板